

**THERMOGRAPHISCHE
UNTERSUCHUNGEN
DER UNTEREN
EXTREMITÄTEN
NACH IMMOBILISATION
IM GIPSVERBAND**

WOLFGANG HALBECK

1974

Aus der Orthopädischen Klinik und der Orthopädischen
Poliklinik der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. A. N. Witt)

THERMOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN DER UNTEREN
EXTREMITÄTEN NACH IMMOBILISATION IM GIPSVERBAND.

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin verfaßt und einer Hohen Medizinischen
Fakultät der Ludwig Maximilians-Universität
zu München

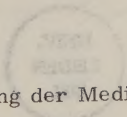
vorgelegt von
Wolfgang Halbeck

aus
Augsburg

1974

INHALTS - VERZEICHNIS

A.	Einleitung	1
B.	Grundlagen der Thermographie	2
I.)	Definition	2
II.)	Geschichte	2
III.)	Physikalische Voraussetzungen	4
IV.)	Literatur-Überblick	5
C.	Methodik der Thermographie	8
I.)	Aufbau des Gerätes "System Barnes"	8
II.)	Anordnung der Apparatur	9
III.)	Gang der Untersuchung	10
IV.)	Auswertung	10
D.	Krankengut	11
E.	Untersuchungsergebnisse	12
I.)	Verletzungen distal des Meßbereichs	12
II.)	Verletzungen proximal des Meßbereichs	13
III.)	Verletzungen im Meßbereich	14
IV.)	Operativ versorgte Verletzungen im Meßbereich .	15
V.)	Sudeck'sche Erkrankung	15
F.	Diskussion	16
G.	Zusammenfassung	24
	Literatur-Verzeichnis	25-26
	Lebenslauf	


Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatte: Prof. Dr. A. N. Witt

Dekan: Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juli 1974

Herrn Professor Dr. Karl Viernstein
danke ich für die Überlassung des
Themas dieser Arbeit.

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn
Dr. med. Werner Keyl, Facharzt der
Orthopädie, für die freundliche
Unterstützung während meiner Arbeit.



In Dankbarkeit meinen lieben Eltern.

A. EINLEITUNG

Bekanntlich stellen sich an verletzten Extremitäten nach Wochen der Ruhigstellung Immobilisationsschäden ein. So treten an Muskulatur und Knochen, an Sehnen, Bändern und Gelenkkapseln Veränderungen im Sinne einer Atrophie auf. Auch die Durchblutung erscheint gestört, was bislang allerdings nur subjektiv durch Handauflegen und Vergleichen der Hauttemperaturen festgestellt werden konnte.

Die Thermographie ist nun in der Orthopädie eine relativ neuartige Technik zur Untersuchung der Hauttemperatur. Sie vermag die Diagnose orthopädischer Erkrankungen und ihrer Begleiterscheinungen weiter zu sichern.

So befaßten sich in jüngster Zeit THALMANN⁽²⁴⁾ mit Veränderungen der Hauttemperatur bei primär-chronischer Polyarthrit (PCP), FRANKE⁽⁶⁾ bei Knochentumoren und BUBSER⁽²⁾ bei peripheren Nervenläsionen. Unser Interesse galt nun einer genaueren Untersuchung der Hauttemperatur der unteren Extremitäten nach Immobilisation im Gipsverband.

B. Allgemeine Grundlagen der Thermographie

I.) Definition

Nach seinem griechischen Ursprung müßte der Begriff "Thermographie" exakt mit "Wärme-aufschreibung" übersetzt werden. Das Gerät, der "Thermograph", aber zeichnet nicht einfach die Temperatur, sondern die Intensität und Verteilung infraroter Eigenstrahlung, also die Strahlenemission eines Körpers auf. Diese Intensitätsverteilung der emittierten Strahlen läßt dann auf die Temperatur des Körpers schließen. Nach WOLFE⁽²⁷⁾, der sich in seiner Arbeit um eine exakte Definition des Begriffes "Thermographie" bemühte, sollte daher der Terminus "infrared radiography" für diese Technik gebraucht werden.

Der eingedürgerte Begriff "Thermographie" bleibt jedoch neben dieser genaueren Definition weiter bestehen.

II.) Geschichte

HERSCHEL sen.⁽¹⁴⁾ entdeckte 1840 die Wärmestrahlung und deren Messung. COBET⁽⁵⁾ und BRAMIGK⁽⁵⁾ zeigten 1924, daß sich die menschliche Haut im Bereich der infraroten Strahlung mit einem schwarzen Körper vergleichen läßt, der Strahlen vollständig absorbiert und emittiert. Diese infrarote Strahlung, so erkannten sie, eignete sich zur Messung der Haut-Temperatur besser, als die Messung bei direktem Hautkontakt.

Diese Erkenntnis wurde durch HARDY⁽¹³⁾ zehn Jahre später in seiner Arbeit über Methoden der Haut-Temperatur-Messung bestätigt. Er erklärt

die Fehler und Nachteile der Kontaktmethode so: Da die Meßsonde nur einen Teil der Haut berührt, der andere Teil von der umgebenden kühleren Raum-Temperatur beeinflusst wird, kann die gemessene Temperatur nicht der tatsächlichen Haut-Temperatur entsprechen, sondern muß zwischen dieser und der Umgebungstemperatur liegen. Weiterhin wird das Meßergebnis durch den unterschiedlichen Druck, mit dem die Sonde auf der Haut lastet, verfälscht.

Den größten Nachteil der Kontaktmethode sieht HARDY⁽¹³⁾ jedoch darin, daß sich die Temperatur nur eines Punktes auf der Haut beurteilen läßt, nicht aber die eines größeren Areals, wie es beim Wärmebild der Infrarot-Technik der Fall ist. Der von HARDY⁽¹³⁾ konstruierte "Radiometer" konnte sich wahrscheinlich wegen der zu hohen Kosten dieses Thermographie-Gerätes und der einfacheren Anwendung der Kontaktsonden nicht durchsetzen, obwohl die Messung der infraroten Strahlen genauere Ergebnisse lieferte. Erst 1953 verhalf SCHWAMM⁽²²⁾ der Infrarotmessung zum endgültigen Durchbruch, und vier Jahre später konnte LAWSON⁽¹⁸⁾ die Möglichkeiten der Diagnosestellung des mamma-Carcinoms mit der Infrarot-Technik erweitern.

II.) Physikalische Voraussetzungen der Thermographie

Mit Beginn des 19. Jahrhunderts entdeckte HERSCHHEL⁽¹⁴⁾ die Infrarotstrahlung. Ihre Verwendbarkeit für Temperaturmessungen fand in der Flugtechnik reges Interesse. Neu konstruierte Geräte brachten die Meßergebnisse auf photographischen Platten in Form sogenannter Wärmebilder zur Darstellung. Als Vorteil stellte sich die völlige Unabhängigkeit von der Beschaffenheit der Oberfläche, von dem direkten Kontakt mit dem Objekt und von dessen Beleuchtung heraus. Wärmestrahlung oder Wärme-"Emission" ist, wie oben erwähnt, nicht an Materie gebunden und wird von jedem Körper, dessen Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (-273°C) liegt in Form der infraroten Strahlung abgegeben. Diese infrarote Strahlung wird bei der Thermographie gemessen.

COBET und BRAMIGK⁽⁵⁾ stellten fest, daß sich die menschliche Haut im Bereich der infraroten Strahlung wie ein schwarzer Körper verhält, der Strahlen zu 100% absorbiert und emittiert. In Anlehnung an diese Theorie vom physikalisch schwarzen Körper bewiesen BÜTTNER⁽⁴⁾, KRÖBEL⁽¹⁷⁾ und BUCHMÜLLER⁽³⁾ durch eigene Versuche, daß mit Ausnahme von Schwielen alle Körperstellen infrarote Strahlen emittieren. Die Infrarot-Thermographie basiert auf der Erfassung und Messung dieser Strahlung.

Die Wellenlänge dieser Strahlen liegt im Bereich von 3μ bis 30μ , mit einem Maximum bei der Wellenlänge $9,7\mu$ und damit um das 20-fache über der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Daraus folgt, daß die Lichtquanten dieser Wärmestrahlung eine zu geringe Energie besitzen, um eine photographische Platte zu schwärzen. Besondere Infrarotdetektoren aus Indiumantimonit für eine Wellenlänge bis 6μ

sind in der Lage, die Strahlung in ein elektrisches Signal umzuwandeln. Diese Signale wiederum lassen sich elektronisch verstärken und somit sichtbar machen. Zur Anfertigung eines Wärmebildes wird nun die zu untersuchende Körperfläche punktweise abgetastet, das Detektorsignal entsprechend verstärkt und wieder zu einem Bild zusammengefügt.

III. Literaturüberblick

Temperaturmessungen bei Frakturen liegen von IPSEN⁽¹⁵⁾, HAASE⁽¹¹⁾, SUTER⁽²³⁾, LVOV⁽²⁰⁾, und BARNES⁽¹⁾ vor sowie von GIEBEL⁽⁸⁾, GERSHON-COHEN⁽⁷⁾, GROS und BOURJAT⁽¹⁰⁾. Diese Verfasser fanden nach Knochenbrüchen Temperaturanstiege im Bruchbereich.

BARNES, GIEBEL, GROS und BOURJAT fanden, daß Wärmeveränderungen der Haut einen schluß auf Durchblutungsänderungen zulassen. Sie wurden durch WRIGHT⁽²⁸⁾ bestätigt, der eine direkte Änderung der Hauttemperatur mit der Durchblutung fand.

Die Beziehung zwischen Knochenfraktur und veränderter Durchblutung stellte GRESSER⁽⁹⁾ in seiner Arbeit "Beobachtung des Heilverlaufes von Unterschenkelbrüchen mittels Thermographie, Thermometrie und Rheographie" her. Er stellte bei allen 36 untersuchten Patienten in den ersten Tagen eine bedeutende Temperatur-Erhöhung über der Frakturstelle fest. Bei den Patienten, die konservativ mit Drahtextension und anschließend Liege- und Gehgips behandelt wurden, fand er bereits in der ersten Woche proximal und distal des Bruchbereichs geringfügige Temperatur-Erhöhdigungen vor. Diese Hypothermie führt GRESSER⁽⁹⁾ auf die muskuläre Inaktivität und Extension auf der Schiene zurück. Den weiteren Temperaturabfall

außerhalb des Bruchbereichs erklärt GRESSER folgendermaßen: "Die Untertemperaturen, vorwiegend in der Peripherie während der Zeit der Gipsverbände, sind ebenfalls als Folge der fehlenden Muskelarbeit sowie der Minderdurchblutung durch die einengenden Verbände zu erklären. Auch durch die rheographischen Untersuchungen läßt sich die erhebliche Minderung der Durchblutung bestätigen, die auf Ruhigstellung, Dehnung und einengende Verbände bezogen werden kann und nach drei bis vier Wochen Gipsverband Werte von 60 bis 65% der Norm erreicht."

Ein normales Thermogramm läßt entsprechend der Temperaturverteilung des untersuchten Körpers eine Hell-Dunkel-Schattierung erkennen. Die Aufhellungen entsprechen warmen bis heißen, die dunklen Stellen kalten Partien. Demnach stellen Grautöne mittlere Temperaturen dar. Ein qualitativ gutes Thermogramm sollte möglichst viele Grautöne zeigen. Um ein solches Thermogramm zu bekommen, ist es erforderlich, einen mittleren Eichwert zu wählen, damit sowohl die sehr heißen als auch die sehr kalten Körperbereiche dargestellt werden. In der orthopädischen Universitätsklinik München wurden Thermogramme von 50 gesunden Versuchspersonen erstellt, um einen Überblick über die Wärmeverteilung der unteren Extremität zu gewinnen. Grundsätzlich fand man über den Gelenken kalte, über den muskulären Bereichen warme bis heiße Zonen.

Im einzelnen stellten sich die Extremitäten-Ausschnitte folgendermaßen dar:

Der Oberschenkel wird als leopardenfellartig gefleckte Struktur abgebildet, die wahrscheinlich dem oberflächlichen Hautvenengeflecht und der subcutanen Fettverteilung entspricht. Bei weiblichen

Versuchspersonen zeigt sich diese Struktur ausgeprägter. Das Kniegelenk, das praktisch frei von Muskulatur ist, ist eine ovale, stark hypotherme Zone. Der Unterschenkel zeichnet sich auf Grund des Muskelmantels als warme Zone ab. Dieser hypertherme Bereich, der unschwer als Wade zu erkennen ist, läuft nach distal langsam entsprechend der Muskulaturabnahme in eine hypotherme Zone aus, die das Sprunggelenk darstellt. Diese Temperaturverteilung ist bei gesunden Personen an beiden Beinen gleich, es findet sich also physiologischer Weise eine Temperatursymmetrie. Als Hinweis auf pathologische Veränderungen gelten nach IPSEN⁽¹⁵⁾ bereits größere Temperaturdifferenzen als $0,66^{\circ}\text{C}$ an symmetrischen Hautpartien. Im Rahmen dieser Arbeit wurden keine vergleichenden Temperaturmessungen an gesunden Menschen vorgenommen, da bereits TRÖGER⁽²⁶⁾ sich vor kurzem in ihrer Arbeit mit der Frage der Temperatur-Symmetrie beschäftigte. Sie untersuchte als Kontrollgruppe 50 gesunde Schüler der massageschule an der Orthopädischen Universitätsklinik München und fand eine maximale Temperatur-Differenz von $0,4^{\circ}\text{C}$. Mit Rücksicht auf die Werte von IPSEN⁽¹⁵⁾ darf demnach bereits ein Temperatur-Unterschied von $0,5^{\circ}\text{C}$ als pathologisch angesehen werden.

C. Methodik der Thermographie

I.) Aufbau des Gerätes "System Barnes"

Das in der orthopädischen Universitätsklinik München verwendete Gerät ist der "Thermograph", Modell M 1-2 der amerikanischen Firma Barnes Engineering Company Stanford, Conn. Dieses Instrument tastet während eines Untersuchungsvorganges 60 000 bildpunkte ab, was ebenso vielen Temperatureinzelmessungen entspricht. Die Temperatureauflösung liegt bei $0,1^{\circ}\text{C}$ über eine Temperaturbreite von $20^{\circ} - 48^{\circ}\text{C}$.

Über den Planspiegel wird die Strahlung auf den Kollimatorspiegel gerichtet, der diese Strahlung auf den Detektor fokussiert. Der Kollimatorspiegel wird durch einen Schlagmotor = Chopper periodisch hin- und herbewegt, sodaß am Detektor eine Wechselspannung entsteht, die sich leichter verstärken läßt. Das elektrische Signal in der Größenordnung von Mikrovolt läßt sich bei Kombination sämtlicher Verstärker und Vorverstärker maximal um das ca. $1,2 \cdot 10^6$ fache verstärken und gelangt solchermaßen verändert an eine Glühlampe mit Hohlkathode. Ihre Helligkeit richtet sich nach den periodisch einfallenden Wärmestrahlen. Der Lichtstrahl der Lampe wird durch einen Abtastspiegel auf einen Polaroidfilm gelenkt und schreibt somit Punkt für Punkt das Thermogramm.

Um die Einstellung des Gerätes auf das Untersuchungsgebiet zu erleichtern und um den Gang der Untersuchung verfolgen zu können, besitzt der Thermograph folgende Einrichtung:

Ein von der Wärmestrahlung unabhängiger Lichtstrahl wird in genau entgegengesetzter Richtung, in der die Wärmestrahlung einfällt, auf den Körper gelenkt. Dort bildet er sich als Lichtpunkt ab und folgt Linie für

Linie der laufenden Wärmeabtastung. Diese Hilfsvorrichtung zeigt der untersuchenden Person stets genau die Stelle an, die im Moment gemessen wird.

II.) Anordnung der Apparatur

Der Thermographie-Raum soll eine stets gleichbleibende Temperatur von 18° - 20°C aufweisen, um eine Verfälschung der Messungen zu verhindern. Die relativ lange Untersuchungsdauer von 4 Minuten, in der sich der Patient nicht bewegen darf, wird erträglicher, wenn der Patient auf einer Bahre im Liegen untersucht wird. Bewegungen ergeben Verzerrungen im Thermogramm, die eine genaue Lokalisation nicht mehr ermöglichen. Über dem Patienten befindet sich ein um 45° geneigter, großer Umkehrspiegel, der die aufsteigende Wärmestrahlung zum Thermographen reflektiert. Die "Thermal Gray"-Skala dient als Temperaturstandard und ist ein Gerät mit 10 quadratischen Öffnungen, von denen jede eine genau bekannte Temperatur zwischen 29° und 38°C besitzt. Dieses Gerät wird während der Aufnahme so nahe wie möglich an die zu untersuchende Körperpartie gebracht, ohne Teile davon zu verdecken. Auf dem Wärmebild erscheinen dann die 10 Öffnungen als verschiedene Grautöne, die als Eichwerte zur Auswertung des Bildes mit dem Photokomparator benutzt werden.

Der Thermograph steht auf einem beweglichen Dreifuß. Je näher er am Patienten steht, desto kleiner ist das Feld, das zur Abbildung kommt. Für die Untersuchung der Beine hat sich bei unseren Messungen ein Abstand von 1,5m - 2m bewährt. So konnten beide Beine, von den Zehen bis zu den Hüftgelenken, un die "Thermal Gray"-Skala auf einem Thermophoto abgebildet werden.

Ein Oszillograph, der an den Thermographen angeschlossen ist, macht zu jedem Zeitpunkt der Messung die elektrischen Signale als Temperaturveränderungen sichtbar. Somit wird jederzeit die bestmögliche Einstellung zwischen Empfindlichkeit (Sensitivity) und Kurvenmaßstab (Brightness) ermöglicht.

III.) Gang der Untersuchung

Der Patient legt sich auf die Bahre, nachdem er an den Beinen entkleidet ist. Es folgt eine 10-minütige Akklimatisationszeit, in der sich die Hautoberfläche des Patienten an die Raumtemperatur anpassen soll. Er wird aufgefordert, möglichst entspannt und gelöst zu liegen, um psychische Alterationen, die zu einer vasomotorischen Beeinflussung führen könnten, auszuschalten. Die Temperaturanpassung wird durch Fächeln der Luft über den Beinen erleichtert. Gegen Ende dieses Zeitraumes werden Temperatur minima und maxima abgetastet und der Thermograph dementsprechend geeicht. Ist dieser optimal eingestellt, wird ein Polaroid-Film in die Kassette eingelegt und der aufnahmebereite Thermograph in Betrieb gesetzt. Nach Durchlaufen sämtlicher Zeilen, was sich am Gerät ablesen läßt, schaltet sich der Thermograph automatisch ab, und man kann nun den belichteten Film aus der Kassette ziehen. Bei diesem Vorgang wird das Bild automatisch entwickelt und muß nach 15 Sekunden fixiert werden. Jetzt ist das Thermogramm fertig und kann ausgewertet werden.

IV.) Auswertung

Die Thermogramme wurden mit dem Photokomparator vom Typ "Barnes Engineering Comp." ausgewertet. Zur Gewinnung von vergleichswerten und zur Feststellung der Temperatur-Differenz wurden auf dem Bild stets beide Beine gemessen. Die punktförmige Photozelle des Komparators wurde bei jeder Messung stets über der gleichen Stelle des Bildes ausgerichtet. Diese Stelle entsprach einem Punkt in der Mitte des proximalen Tiadiadrittels und wurde stellvertretend für das ganze Bein ausgewählt, da sie sich mit der Injektionsstelle, die mein Kollege HÄFNER⁽¹²⁾ in seiner Arbeit genauer beschreibt, deckt.

D. Krankengut

Aus dem ambulanten und stationären Krankengut der orthopädischen Universitätsklinik München wurden 70 Patienten mit Verletzungen der unteren Extremitäten ausgewählt. Die Art der Verletzungen erstreckte sich auf reine Weichteilverletzungen wie Distorsionen, Meniskopathien und Achilles-Sehnenrisse, auf sämtliche Frakturen der Tibia, der Sprunggelenks- und Fußknochen und auf korrigierende operative Eingriffe, wie z.B. Pendel-osteotomien, T-Arthrodesen usw.

Patienten mit Frakturen und Operationen wurden nach den Grundsätzen BÖHLERS versorgt, d.h. mit Liege- und Gehgipsverband bis zur knöchernen Stabilisierung, mit Zinkleimverband während der Nachbehandlung. Die Patienten mit weichteilverletzungen erhielten bei Meniskopathien eine Gips-hülse, bei Achilles-Sehnenrissen einen Oberschenkel-Liegegips und bei Distorsionen einen Unterschenkel-Gehgips. Der Gipsverband wurde je nach Art der Verletzung und des Heilungsverlaufes zum Teil über mehrere Monate, zum Teil nur über wenige Wochen zur Ruhigstellung belassen. Die Thermogramme wurden jeweils unmittelbar nach Gipsabnahme angefertigt. Fast alle Patienten wurden im unmittelbaren Anschluß an diese Untersuchung von meinem Kollegen HÄFNER⁽¹²⁾ weiter untersucht. Er beschäftigte sich mit der Messung der Muskeldurchblutung mittels der ^{133}Xe -Clearance-Methode. Auf seine Ergebnisse wird im Abschnitt "Diskussion" eingegangen.

E. Untersuchungsergebnisse

von den 70 ausgewählten Patienten hatten 40 eine Verletzung distal und 7 Patienten proximal dieses Meßpunktes. Bei 17 Patienten lag die Verletzung genau im Meßbereich. 9 dieser Patienten wurden operativ behandelt, da teils eine Versorgung nach den Prinzipien der AO-Gesellschaft aus der Art der Fraktur indiziert war und im anderen Teil corrigierende Eingriffe (Pendelosteotomie) infolge der Diagnose "Genu varum" nötig waren. Diese Patienten werden, ebenso wie die 6 Patienten, bei denen sich röntgenologisch eindeutig die Zeichen einer Sudeck'schen Erkrankung nachweisen ließen, in einer eigenen Gruppe diskutiert. Nach grobem Überblick über die Meßergebnisse ließen nämlich diese Patienten eine andere Temperaturverteilung erwarten.

I.) Verletzungen distal des Meßbereichs.

Diese Patienten trugen je nach Art ihrer Verletzung Gipsverbände für eine Dauer von 2 - 16 Wochen. Um die nötige statistische Breite zu erlangen, wurde eine 4-wöchentliche Einteilung vorgenommen. In den ersten 4 Wochen befinden sich vorwiegend Patienten mit Weichteilverletzungen und leichteren Frakturen der Fußknochen. Bereits nach einer Ruhigstellungsdauer von 2 Wochen Gipsverband zeichnen sich am betroffenen Bein Temperatur-Erniedrigungen von -1°C gegenüber dem gesunden Bein ab. Bei zwei Patienten wurden nach 2 bzw. 3 Wochen Gips Temperatur-Differenzen von -3°C ermittelt, ein Patient lag nach 4 Wochen sogar um -4°C unter der Normaltemperatur des unverletzten Beines. So konnte für diesen Zeitraum im Schnitt eine Temperaturerniedrigung von

-1,34°C ermittelt werden. In der 5. - 8. woche bestanden Werte, die von Temperaturgleichheit sowohl bis 2°C über als auch bis 3°C unter der Normaltemperatur der Gegenseite lagen. Die mittlere Temperaturdifferenz von 1,35°C änderte sich demnach in diesem Zeitraum kaum. Anders in dem folgenden 4-wöchigen Zeitabschnitt. Hier befanden sich vor allem Patienten mit schweren Frakturen im unteren Drittel der Tibia und des Sprunggelenkes. Sämtliche Patienten zeigten eine Temperaturniedrigung, im Höchstfall -3°C nach der zehnten Woche Gipsverband. Somit sanken die Temperaturen der verletzten Beine auf einen Durchschnittswert von -1,58°C.

In der 13. - 16. Woche waren nur noch Patienten mit Tibia-Frakturen zu finden, deren knöcherne Instabilität wahrscheinlich auf eine verzögerte Kallusbildung zurückzuführen war. Jetzt lagen die Temperaturdifferenzen noch ausgeprägter im negativen Bereich. Ein Patient hatte nach Gipsabnahme in der 13. Woche sogar eine Temperaturniedrigung von -5°C. Der Durchschnittswert wurde somit noch weiter auf -2,1°C gedrückt.

Bei der Betrachtung aller vier Durchschnittswerte der einzelnen Zeitabschnitte ließ sich bereits von Anfang an, also nach der 2. Woche, eine Temperaturniedrigung der betroffenen Beine feststellen. Diese anfangs gleichbleibende Hypothermie verstärkte sich ab der 8. Woche zunehmend und erreichte ihren Tiefpunkt in der 13. - 16. woche.

II.) Verletzungen proximal des Meßbereichs

Von den 7 Patienten mit Verletzungen proximal des Meßbereichs hatten 4 Patienten Meniskopathien und waren operiert worden. Die Ruhigstellung in der Gipshülse dauerte im Höchstfall 4 Wochen. Bei 3 Patienten war die Temperatur des verletzten

Beines um -1°C erniedrigt, bei einem Patienten, der bereits nach einer Woche Gipsverband untersucht wurde, bestand Temperatúrausgleich. Die restlichen 3 Patienten dieser Gruppe mit Verletzungen proximal des Meßbereichs litten an knöchernen Traumen. Dabei handelte es sich um einen korrigierenden Eingriff bei Coxa valga mit 12 Wochen Ruhigstellung im Oberschenkel-Liegegips. Die Temperatur des betroffenen Beines lag um 2°C höher als normal. Ein weiterer Patient hatte nach 13 Wochen Gipshose wegen einer Arthrodese des Hüftgelenks eine Hypothermie von $-2,5^{\circ}\text{C}$. Bei dem letzten Patienten dieser Gruppe handelte es sich um eine supracondyläre Oberschenkelfraktur, die in Gipsverbänden für insgesamt 32 Wochen ruhiggestellt wurde. In diesem Fall bestand Temperatúrausgleich.

III.) Verletzungen im Meßbereich

Die 17 Patienten dieser Gruppe hatten alle, bis auf 2 mit Muskelfaserrissen des Gastrocnemius, Tibiafrakturen im proximalen Drittel. Je nach dem Zeitpunkt des Gipswechsels wurden die Temperaturmessungen ab 2 - 32 Wochen Ruhigstellung durchgeführt. 8 dieser Patienten wurden konservativ nach den Grundsätzen BÖHLERS versorgt, 9 wurden zunächst operativ behandelt und anschließend in Gipsverbänden ruhiggestellt. Die konservativ behandelten Patienten wiesen alle Werte auf, die von Temperatúrausgleich bis maximal $-3,5^{\circ}\text{C}$ an dem betroffenen Bein reichten. Bis zur 12. Woche lagen die Temperaturen im Schnitt um $-1,25^{\circ}\text{C}$ unter denen der Gegenseite, erst danach sanken sie auf Werte unter -2°C ab.



li. re

Abb. 1 Sprunggelenks-Distorison links nach 2-wöchiger
Ruhigstellung im Unterschenkelgehgips.

Alle Thermogramme stellen sich infolge der
Reflexion über den 45°-Spiegel seitenverkehrt dar.

Tab. 1 Temperaturdifferenz bei Patienten mit
Verletzungen distal des Meßbereichs

Verletzung	Temp.-Diff. in °C	re. in °C	li. in °C	Gips	Dauer
Mittelfuß-Fr.re.	- 2°	29°	31°	U'GG	3
Mittelfuß-Fr.re.	- 4°	30°	34°	U'GG	4
Mittelfuß-Fr.re.	- 2,5°	32°	34,5°	U'GG	4
Knöchel-Fr. li.	- 2,5°	32°	29,5°	U'GG	3
Knöchel-Fr. re.	- 0,5°	32°	32,5°	U'GG	3
Knöchel-Fr. li.	- 0°	31,5°	31,5°	U'GG	3
Knöchel-Fr. li.	- 0,5°	32,5°	32°	U'GG	4
Achill.-S.-Zerrg.li.	- 0,5°	34°	33,5°	U'GG	4
Tendopathie d. Achill. 18.	- 3°	32°	35°	U'GG	3
Knöchel-Dist. re.	- 0,5°	32,5°	33°	U'GG	3
Knöchel-Dist. li.	- 1°	34°	33°	U'GG	3
Knöchel-Dist. re.	- 1,5°	32°	33,5°	U'GG	3
Knöchel-Dist. re.	- 1°	32°	33°	U'GG	2
Knöchel-Dist. li.	- 0,5°	31,5°	32°	U'GG	2
Knöchel-Dist. re.	- 0,5°	32,5°	33°	U'GG	2
Knöchel-Dist. re.	+ 0,5°	32°	33,5°	U'GG	3
Knöchel-Dist. li.	- 3°	33°	30°	U'GG	2
Achill.-S.-Riß re.	- 1,5°	33°	34,5°	U'LG	4
Achill.-S.-Riß li.	- 2°	33,5°	31,5°	O'LG	8
Achill.-S.-Riß li.	- 1°	34°	33°	O'LG	6
Achill.-S.-Verl.li.	- 3°	33°	30°	O'LG	6
Achill.-S.-Riß re.	- 0,5°	33°	33,5°	O'LG	6
Tibia-Fr. li.	- 0,5°	32,5°	32°	O'LG	6
Hohlfuß, T-Arth.li.	- 0,5°	34°	33,5°	U'GG	6
Calc.-Fr. re.	- 2,5°	31°	33,5°	U'GG	7
Calc.-Fr. re.	- 0,5°	32,5°	33°	O'LG	6
Phal.-Fr. I+II re.	- 0,5°	33°	33,5°	U'LG	5
Mittelfuß-Fr. li.	+ 2°	32,5°	34,5°	U'GG	6
Hohlfuß-OP li.	+ 1°	32°	33°	U'GG	6
T.-Arthrod. li.	- 3°	32°	29°	U'LG	10
Mittelfuß-Fr. li.	- 2,5°	31°	28,5°	U'GG	9
Hohmann OP re.	- 2°	32°	34°	U'GG	9
Tibia-Fr. li.	0°	32,5°	32,5°	O'LG	11
Tibia-Fr. re.	- 0,5°	33°	33,5°	U'GG	9
Tibula-Fr. li.	- 1,5°	32,5°	31°	U'LG	11
Metatarsale V-Fr.re.	- 5°	30°	35°	U'GG	13
Arthrodex subt. li.	- 0,5°	33°	32,5°	U'LG	13
Arthrodex subt. li.	- 3°	32°	29°	U'LG	15
Tibia-Fr. re.	- 1°	33°	34°	O'LG	16



li. re.

Abb. 2 Mittelfuß-Fraktur rechts nach 4-wöchiger
Ruhigstellung im Unterschenkelgehgips.



li. re.

Abb. 3 Achillessehnenriß links nach 8-wöchiger Ruhigstellung im Oberschenkeliegegips.

Tab. 2 Patienten mit Verletzungen proximal des Meßbereichs

Verletzung		Temp.-Diff. in °C	re. in °C	li. in °C	Gips	Dauer in Wo.
Meniscotomie	li.	- 1°	34,5°	33,5°	Braun-Sch.	2
Meniscopathie	re.	+0,5°	33°	32,5°	Tutor	1
Innenbd.-Zerrg.	re.	- 1°	34°	35°	Tutor	4
Innenbd.Schad.		- 1°	33°	34°	Tutor	3
Arthrod.-Hüftgel.	re.	- 2,5°	32°	34,5°	Becken-G	13
Coxavalga-OP	li.	+ 2°	32°	34°	O'LG	12
O'Schenkel Fr.	re.	- 2°	30°	32°	{ O'LG Becken-G Tutor	32

Tab. 3 Temperaturdifferenz bei Patienten mit Verletzungen i. Meßbereich

Verletzung		Temp.-Diff. in °C	re. in °C	li. in °C	Gips	Dauer in Wo.
Tibia-Fr.	re.	0°	32,5°	32,5°	O'LG	7
Tibia-Fr.	re.	- 2,5°	30,5°	33°	O'LG	8
Tibia-Fr.	re.	- 3,5°	30,5°	34°	O'LG	12
Tibia-Fr.	re.	- 2°	32,5°	34,5°	O'LG	6
Tibia-Fr.	li.	0°	32°	32°	O'GG	11
Tibia-Fr.	re.	- 1°	34°	35°	O'LG	10
Muskelriß	li.	- 2,5°	35°	32,5°	O'GG	3
Muskelriß	re.	- 2°	31°	33°	O'GG	2

IV.) Operativ versorgte Verletzungen
im Meßbereich

Ganz anders verhielten sich die operativ versorgten Patienten. Hier wurden Werte von Temperaturnachgleich bis maximal $+6^{\circ}\text{C}$ über normal erreicht. Diese hyperthermien wurden von der 4. Woche an gemessen und erreichten selbst noch nach 32 Wochen um $+3,5^{\circ}\text{C}$ mehr als an der Gegenseite. Insgesamt ergab sich eine um $+3,1^{\circ}\text{C}$ erhöhte Temperatur am betroffenen Bein.

V.) Sudeck'sche Erkrankung

Eine Sudeck'sche Erkrankung wurde röntgenologisch eindeutig bei 6 Patienten nachgewiesen. Fünf Patienten hatten eine tibiafraktur und wurden konservativ behandelt, während bei einem Patienten eine tibia-korrektur durchgeführt wurde, die aber ebenso in einem Gipsverband ruhiggestellt wurde. Die Temperaturmessungen in den ersten 14 Wochen ergaben Werte um den nullpunkt, d.h. beide beine hatten annähernd die gleiche Temperatur. Deutlich erniedrigte Temperaturen der betroffenen beine traten in der 21. Woche mit -2°C und in der 28. Woche mit $-4,5^{\circ}\text{C}$ auf. Ab der 31. Woche normalisierten sich die Temperaturen wieder und erreichten Werte um den Temperaturnachgleich.



li. rē.

Abb. 4 Meniscotomie links nach 2-wöchiger
Lagerung auf der Braun'schen Schiene.

Tab. 4 Patienten mit operativ versorgten Verletzungen im Meßbereich.

Verletzung		Temp.	re.	li.	Gips	Dauer
Pendelosteotomie	li.	+ 6 ⁰ C	32 ⁰	38 ⁰	0' LG	
Pendelosteotomie	re.	+ 2 ⁰ C	35 ⁰	33 ⁰	0' LG	
Tibia-Fr.re.AO-verschr.		0 ⁰ C	32,5 ⁰	32,5 ⁰	-	
		- 2,5 ⁰	31 ⁰	33,5 ⁰	-	20
Tibia-Fr.li.Spanverpfl.		+ 3,5 ⁰	33,5 ⁰	37 ⁰	0' GG	32
mult.Tibia-Fr.li.AO-Vers.		0 ⁰	32 ⁰	32 ⁰	0' LG	8
		+ 0,5 ⁰	32,5 ⁰	33 ⁰	0' GG	12
		+ 6 ⁰	31 ⁰	37 ⁰	U' GG	16
		+ 3,5 ⁰	33,5 ⁰	37 ⁰	-	19
Tibia-Fr.re.Kreuzbd.waht		+ 5 ⁰	38 ⁰	33 ⁰	0' LG	10
Tibia-Fr.li.AO-versorg.		+ 5 ⁰	33 ⁰	38 ⁰	0' GG	10
Tibia-Fr.re.AO-Versorg.		+ 3 ⁰	35,5 ⁰	32,5 ⁰	0 LG	14
Tibia-Fr.li.		+0,5 ⁰	32,5 ⁰	33 ⁰	Tutor	4

Tab.5 Temperaturdifferenz bei Patienten mit den Zeichen einer Sudeck'schen Erkrankung.

verletzung		Temp.Diff. in ⁰ C	re. in ⁰ C	li. in ⁰ C	Gips	Dauer i.Wo..
off.Tibia-Fr.	re.	- 0,5 ⁰	33 ⁰	33,5 ⁰	0' LG	10
		- 1 ⁰	32,5 ⁰	33,5 ⁰	0' GG	14
Tibia-Korr.	li.	+0,5 ⁰	31 ⁰	31,5 ⁰	0' LG	6
		-0,5 ⁰	30 ⁰	29,5 ⁰	U' GG	14
		- 1	31 ⁰	30 ⁰		22
Knöchel-Fr.	li.	+ 0,5 ⁰	32 ⁰	32,5 ⁰	U' GG	12
Tibia-Fr.	li.	- 2 ⁰	33 ⁰	31 ⁰	0' LG 0' GG	21
Tibia-Fr.	re.	-4,5 ⁰	32,5 ⁰	37 ⁰	U' LG 0' GG U' GG	28
Tibia-Fr.	li.	+ 3,5 ⁰	33 ⁰	36,5 ⁰	0' LG 0' GG Tutor	12



F. Diskussion

Die Temperatur-Untersuchungen dieser Arbeit zeigen, daß die Ruhigstellung eines verletzten Beines in fast allen Fällen mit einer Erniedrigung der Haut-Temperatur einhergeht. Diese Feststellung läßt sich an Hand der thermographischen Bilder darlegen.

Die Grundlage zur Diskussion dieser Untersuchungs-Ergebnisse bilden die Arbeiten von BARNES¹⁾, GIEBEL⁸⁾, GROS und BOURJAT¹⁰⁾. Sie stellten übereinstimmend eine Abhängigkeit der Haut-Temperatur von der Stärke der Durchblutung fest. In seitenvergleichenden Temperatur-Messungen sieht GIEBEL⁸⁾ ein relatives Maß der Durchblutung. Die Wärmeproduktion im Gewebe geht im allgemeinen mit einer Durchblutungssteigerung konform. Nach GROS und BOURJAT¹⁰⁾ sind Temperaturschwankungen an der Körperoberfläche, besonders an den Extremitäten, weitgehend von Veränderungen der Blutversorgung abhängig. Sie stellten Temperatur-Erhöhungen bei vasodilatation fest. Dagegen sank die Temperatur durch Vasokonstriktion. Temperaturmessungen bei Verletzungen, insbesondere bei Frakturen der unteren Extremität liegen im Schrifttum von GIEBEL⁸⁾, HAASE¹¹⁾, IPSEN¹⁵⁾, LEONHARDT¹⁹⁾, LVOV²⁰⁾ und GRESSER⁹⁾ vor. Alle Verfasser fanden Temperatur-Erhöhungen über der frakturierten Stelle und führten diese auf eine Stoffwechsel- und Durchblutungssteigerung zurück, die sich bei ungestörter Heilung mit Kallusbildung findet.

In der vorliegenden Arbeit wurde angestrebt, die Abhängigkeit der Durchblutung von der Zeitdauer der Ruhigstellung eines verletzten Beines

mittels der Infrarot-Thermographie zu klären. A. GRESSER⁹⁾ fand bei konservativ behandelten Patienten ein Fortbestehen der Hyperthermie am Bruchbereich selbst, aber eine Abkühlung an Oberschenkel und Vorfuß. Er wertet dies als Folge der muskulären Inaktivität und der Extension auf der Schiene. Durch den Zug würden die Gefäße gedehnt, wodurch die Möglichkeit der Dilatation abnehme. Nach GRESSER⁹⁾ sind die Untertemperaturen während der Zeit der Gipsverbände ebenfalls als Folge der fehlenden Muskularbeit sowie der Minderdurchblutung durch die einengenden Verbände zu erklären.

Bei den Patienten des vorliegenden Krankengutes mit Verletzungen distal des Meßbereichs läßt sich bereits nach wenigen Wochen der Ruhigstellung eine zum Teil erhebliche Abkühlung des Unterschenkels feststellen. Diese ist als ein Zeichen mangelnder Durchblutung anzusehen, die sich infolge der völligen muskulären Inaktivität eingestellt hat. Im weiteren Verlauf der Ruhigstellung sinken die Temperaturen des eingegipsten Beines nicht weiter ab. Bei der Beurteilung dieser Tatsache ist die Art der Verletzung zu berücksichtigen, die die Patienten dieses Zeitabschnittes hatten. Dabei handelte es sich um Weichteilverletzungen, insbesondere Achilles-Sehnenrisse, und Frakturen der Fußknochen. Da die Frakturen, vor allem die operativ versorgten, in einem die Hyperämie fordernden und die Hyperthermie erzeugenden Umwau waren, darf angenommen werden, daß die Messungen durch Wärme-Einstrahlungen von der Fraktur her beeinflusst wurden.

THORBAN und SCHÖNBACH²⁵⁾ fanden bei ihren Untersuchungen im gleichen Zeitabschnitt eine wechselnde Durchblutung, wobei sich Zustände von Stase und sogenannter jagender Durchströmung miteinander abwechseln. So lagen die Temperaturen insgesamt nicht niedriger als es die Dauer der Ruhigstellung und die dadurch gestörte Durchblutung erwarten ließe. Erst in den folgenden 4 Wochen sank dann die Temperatur weiter ab. Unmittelbar über der Fraktur bestand zwar weiterhin eine Hyperthermie, die jedoch auf den Unterschenkel und das ganze Bein keinen Einfluß mehr hatte. Diese Untertemperatur hat ihren Grund in der bereits einsetzenden Muskelatrophie als Folge der Inaktivität und in der verminderten Durchblutung infolge der einengenden Gipsverbände. Ein nochmaliger Temperatúraufall ist auch bei den Patienten der letzten 4 Wochen zu beobachten, dessen Ursache ebenso in der Minderdurchblutung zu suchen ist. Die Tatsache, daß ruhiggestellte Beine im Laufe der Zeit eine ständig zunehmende Abkühlung erfahren, läßt die Schlussfolgerung zu, daß die Durchblutung im entsprechenden Maße abnimmt. Je länger also die Ruhigstellung dauert, umso weniger wird das verletzte Bein durchblutet. Zu welchem Zeitpunkt die Temperatur nicht mehr weiter absinkt und die Durchblutung sich nicht weiter vermindert, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden.

In ähnlicher Weise verhalten sich die Patienten mit Verletzungen proximal des Meßbereichs. Die leichte Hyperthermie bei vier Patienten mit Meniskopathien und einem Gipsverband für nur wenigen Wochen ist als Folge einer beginnenden Minderdurchblutung anzusehen. Ein weiterer Patient mit Arthrodesen des Hüftgelenks zeigt eine stärkere

Abkühlung. Sein Bein befand sich 13 Wochen im Gipsverband. Es ist also auch bei dieser Gruppe von Patienten zu erkennen: Je länger die muskuläre Inaktivität andauert, desto stärker kühlt sich das Bein ab und desto geringer ist die Durchblutung. Dagegen fiel ein anderer Patient durch eine beträchtliche Erwärmung auf, obwohl er ebenso für 12 Wochen einen Gipsverband trug. Er mußte sich aber wegen einer Coxa valga einer Operation unterziehen. Die Beziehung zwischen Hyperthermie und operativem Eingriff wird im Zusammenhang mit einer anderen Gruppe von Patienten im folgenden zu erklären versucht. Die Patienten mit Traumen im Bereich der Meßstelle zeigen Temperaturen, die sich von erheblicher Erwärmung über Temperatúrausgleich bis zu starker Hypothermie erstrecken. Bei näherer Betrachtung jedoch läßt sich erkennen, daß die konservativ versorgten Patienten Temperaturerniedrigungen, die operativ versorgten -erhöhungen zeigen. Dies sprach für eine nochmalige Unterteilung in zwei Gruppen: Die konservative Behandlung erstreckte sich bei den Unterschenkelbrüchen über 12 - 16 Wochen, wobei einige Patienten bereits schon nach 8 Wochen untersucht wurden. Es wurde in allen Fällen, auch bei den Patienten mit Muskelrissen und entsprechend kürzerer Ruhigstellung eine erhebliche Abkühlung festgestellt. Der Grund, daß die Messungen nicht von der Wärme der Frakturstelle überlagert wurden, ist vielleicht darin zu suchen, daß zum Zeitpunkt der Messung die Kallusbildung bereits am Abklingen war und die Hyperämie der Knochenteile einer Durchblutungsverminderung der Weichteile gewichen war. Es zeigen also auch diese Patienten eine entsprechend der Dauer des Gipsverbandes ausgeprägte Minderdurchblutung.

Die Untersuchungen von THOMAS und SCHÖNBACH¹⁵⁾ ergaben 12-16 Wochen nach dem Trauma eine ver-
schmälerung der Kapillarschlingen und eine zu-
nehmende vermindernung ihrer anzahl, die teilweise
zu einem ausgesprochenen Kapillarschwund führte.
Die Ursache dieser Durchblutungsänderungen sahen
sie nicht nur als unmittelbare Folge des Unfall-
traumas, sondern auch als Folge bestimmter behand-
lungsmaßnahmen. Eine Ischämie, hervorgerufen durch
Extension und einengende Gipsverbände, führe be-
sonders leicht zu nervenschädigungen, die als Ur-
sache von lang andauernden Durchblutungsstörungen
anzusehen sind.

Ganz anders verhalten sich die operativ versorgten
Patienten. Es handelte sich bei ihnen um Unter-
schenkelbrüche, die nach den Richtlinien der
Schweizer AO-Gesellschaft behandelt wurden, und um
Pendelosteotomien. Die Hyperthermien, die von Tem-
peraturausgleich bis zu 6°C mehr als am gesunden
bein reichten, lassen auf eine sehr starke Durch-
blutung schließen. GRESSER⁹⁾ berichtet von einer
erheblichen Erwärmung und einer starken Hyperämie
bei Patienten, deren Frakturen mit Platten, Cercla-
gen und Marknägeln versorgt worden waren. Besonders
gut sei die Durchblutung bei geschlossenen Marknäge-
lungen. Das operative vorgehen muß demnach einen ge-
waltigen Reiz nicht nur für die Durchblutung der
frakturierten Stelle, sondern auch für die des ge-
samten beines darstellen. Diese Meinung wird durch
die plethysmographischen Untersuchungen von
E.KELLEROVA¹⁶⁾ et al. gestützt. Sie fand bei 19 opera-
tiv versorgten Unterschenkelbrüchen in der Waden-
muskulatur und in der Haut signifikant höhere Durch-
blutungswerte des frakturierten beines.

Die Patienten mit Sudeck'schem Syndrom zeigen gemäß der heutigen Auffassung über diese Krankheit in den ersten Wochen nach dem Trauma Temperaturenausgleich mit Tendenz zur Hyperthermie. Nach 10 Wochen, als sich die Patienten bereits klinisch im Stadium II befanden, wurde eine mehr oder weniger starke Abkühlung beobachtet. Diese Hypothermie blieb auch noch nach der 30. Woche, also im Stadium III der Sudeck'schen Erkrankung, bestehen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen MAURERS⁽²¹⁾. Er stellte bei 32 geschlossenen Unterschenkelfrakturen zwischen dem 8. und 10. Tag nach Beginn des Sudeck'schen Syndroms den Höhepunkt der Hyperthermie fest. Seine Annahme, daß vergleichende Temperaturmessungen in den ersten 2 Wochen nach dem Trauma einen Fingerzeig für die Stärke der zu erwartenden Umbaureaktion ergeben, konnten wir nicht bestätigen. Die Temperaturerhöhungen, wie sie Umbaureaktionen der Sudeck'schen Erkrankung in den ersten Wochen machen, erreichten nicht solche Werte, um sie von normal verlaufenden Frakturheilungen in diesem Zeitpunkt eindeutig trennen zu können.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stehen sehr gut im Einklang mit denen von HÄFNER⁽¹²⁾, der unter Verwendung desselben Krankengutes die Durchblutung mit Hilfe der 133 Xe-Clearance-Methode untersuchte. Er fand bei den Patienten mit Weichteilverletzungen bereits ebenfalls nach zwei Wochen eine deutliche Minderdurchblutung während der künstlich erzeugten reaktiven Hyperämie. Nach der 4. Woche zeigten die Patienten dann schon im Ruhezustand eine schlechtere Durchblutung, was ebenfalls die Meinung bestätigte, daß die Durchblutungsstörung mit der Dauer der

Ruhigstellung zunimmt. Auch im Falle der Patienten mit konservativ versorgten Frakturen stellt HÄFNER¹²⁾ eine Verschlechterung der Arbeitsdurchblutung fest, die sich zwar zur 20. Woche langsam wieder bessert, dann jedoch schlagartig abnimmt.

Die Mehrdurchblutung bei Patienten mit operativ versorgten Verletzungen konnte auch HÄFNER¹²⁾ in seinen Untersuchungen feststellen. Er fand nach 6 Wochen eine erhöhte Durchblutung während der Hyperämie, die bis zur 12. Woche weiter anstieg.

LEONHARDT¹⁹⁾ zieht auf Grund seiner Untersuchungen den Schluß, daß auf die Dauer eine reine Fraktur ohne große Gefäßverletzung keine Minderdurchblutung der betreffenden Gliedmaßen nach sich zieht. Er kontrollierte diese Ergebnisse gleichzeitig mit einem Haut-Thermometer an verschiedensten Hautpunkten bilateral-synchron und konnte dabei seine oszillographischen Befunde völlig bestätigen. Diese Mitteilung steht im Gegensatz zu den in dieser Arbeit festgestellten Befunden. Die Temperatur-Messungen mittels der Infrarot-Technik lassen erkennen, daß die konservative Behandlung von Verletzungen der unteren Extremitäten mit einer zum Teil erheblichen Durchblutungs-Ver minderung einhergehen. Die Temperatur-Erniedrigungen können nach GRESSER⁹⁾ sowohl dem "Blutverbrauch" im Bruchbereich als auch einer Minderdurchblutung infolge Inaktivität zugeschrieben werden. Eine Hypothermie im Frakturbereich sei sicher ein Hinweis auf eine pathologische Minderdurchblutung. Daß eine Abhängigkeit der Durchblutung von der Dauer der Ruhigstellung besteht, bestätigen die im Laufe

der Wochen ständig sinkenden Temperaturen an den betroffenen Beinen. Weiterhin hat sich gezeigt, daß die Technik der infraroten Temperaturmessung durchaus geeignet ist, eine Aussage über den Grad der Durchblutung bei Verletzungen der unteren Extremitäten zu machen und somit den Heilungsverlauf zu beurteilen.

Für die Praxis ergeben sich daraus folgende Konsequenzen:

Die Thermographie ist eine einfache, für den Patienten völlig unschädliche Untersuchungsmethode zur Feststellung des Durchblutungsgeschehens bei Verletzungen der unteren Extremität. Die thermographischen Untersuchungen sollten nach jedem Gipswechsel in größerem Umfang durchgeführt werden, weil sich der Durchblutungsverlauf so am einfachsten kontrollieren läßt, und therapeutische Maßnahmen frühzeitiger eingeleitet werden können. Wie wichtig diese Maßnahmen sind, zeigt die Tatsache, daß die konservative Behandlung von Verletzungen der unteren Extremität im Laufe der Ruhigstellung von erheblichen Durchblutungsstörungen begleitet wird.

G. Zusammenfassung

Thermographische Untersuchungen wurden an insgesamt 70 Patienten nach Immobilisation bei Verletzungen der unteren Extremität durchgeführt. Wegen des Seitenvergleichs wurden stets verletzte und gesunde Extremität gemeinsam gemessen und ausgewertet. Die Ruhigstellung eines verletzten Beines bei konservativ versorgten Patienten hat in 85,2% der Fälle eine Durchblutungsstörung zur Folge. Das Ausmaß der Störung ist von der Dauer der Ruhigstellung abhängig. Je länger ein verletztes Bein eingegipst ist, desto größer sind die Durchblutungsstörungen.

LITERATUR - VERZEICHNIS

- 1 BARNES, R.B. Thermography of the human body. Science 140 (1963), 870
- 2 BÜSSER, H.F. Thermographische Untersuchungen bei peripheren Nervenläsionen. Med.Diss. in vorber. Persönliche Mitteilungen (1973)
- 3 BUCHMÜLLER, K. reff in Physikalische Grundlagen der Hautthermometrie bei Strahlenmessung im ultraroten. Arch.f.phys.Ther.4 (1965)
- 4 BUTTNER, H. Analysefehler und Kontrollmöglichkeiten im klinischen Laboratorium. Meth.-Inform.Med.3/4 (1964), 105
- 5 COBBET, R. u. BRAMIGK, F. Über Messung der Wärmestrahlung der menschlichen Haut u. ihre Bedeutung. Dtsch.Arch.Klin.Med.144 (1924), 45
- 6 FRANKE, P. Thermographische Untersuchungen bei Knochentumoren. Med.Diss. in Vorbereitung. Persönl.Mitteilungen (1973)
- 7 GERSHON - COHEN, J. A short history of medical thermometry. Ann. N.Y. Acad. Sci. 121 (1964) 4
- 8 GIEBEL, M.G. Arterielle u. venöse Durchblutungsänderungen im Verlaufe d. Frakturheilung an Extremitäten. Arch. orthop. Chir. 56 (1964) 7
- 9 GRESSER, A. Beobachtung d. Heilverlaufes v. Unterschenkelbrüchen mittels Thermographie, Thermometrie und Rheographie. Bruns' Beitr. Klin. Chir. 218 6 (1971), 543
- 10 GROS, CH. u. DOUSSAT, P. Die Anwendungsmöglichkeiten d. Thermographie. Fortschr. Röntgenstr. 106 (1967) 561
- 11 HAASE, W. Wärmemessungen i. Augenblick d. Knochenbrüche. Bruns' Beitr. Klin. Chir. 164 (1934) 476
- 12 HAEFNER, H. ^{133}Xe -Clearance Bestimmungen b. Gipsruhigstellung. Med.Diss. i. vorber. Pers. Mittlg. 197
- 13 HARDY, J.D. The radiation of heat from human body i. J. clin. Invest. 13 (1934)
- 14 HERSCHEL, C.F.W. reff in BARNES, R.B. Clinical thermography J. of the Amer. Med. Assoc. 185 (1963)
- 15 JENSEN, J. Messungen d. Hauttemperatur b. chirurg. Krankheiten. Hospitalstidende 68 (1925) 944
- 16 KELLEROVA, E. Changes in the muscle and skin blood flow following lower leg fracture in man. Acta Orthop. scand. 41 (1970) 249

- 17 KRÖBEL, W. Physikalische Grundlagen d. Haut-
temperaturmessung im Ultraroten.
Arch.für phys. Therm. 4 (1965)
- 18 LAWSON, R. Thermography- anew tod in the Investi-
gation of breast lesions
Canad. Serv. med. J. 13 (1957), 517
- 19 LEONHARDT, H. oszillographische Untersuchungen b. Frak-
turen u. nach Knochen-Transplantationen.
Langenbecks Arch.Klin.Chir.119(1922),520
- 20 LVOV, A. N. Zur Bedeutung d. Hauttemperatur bei Kno-
chenbrüchen. Khirurgija 10 (1938), 64
- 21 MAURER, G. Umbau, Dystrophie und Atrophie a.d. Glied-
maßen.
Ergebn. Chir.Orthop. 33 (1941), 476
- 22 SCHWAMM, E. Praxis d. Infrarotdiagnostik
Erfahrungsheilkunde 11 (1962), 83
- 23 SUTER, E. Temperaturverlauf b. geschloss. Frakturen
Diss. Zürich 1937
- 24 THALMANN, F.H. Die Bedeutung d. Thermographie bei der
Bearbeitung der PCP. Med.Diss. München 197
- 25 THORBAN, W. u. SCHÖNBACH, G. Durchblutungsänderungen i. Verlauf von
Frakturheilungen nach Unfalltraumen.
Hefte z. Monatschr. Unfallheilk. 66 (1960/61).
- 26 TRÖGER, H. Thermogr. Untersuchungen d. unteren Extre-
mitäten b. Ischiaspatienten.
Med.Diss. München 1972.
- 27 WOLFE, W.L. Infrared Imaging devices in infrared
medical radiography
Ann. of the Nr.4 Acad.Sci.121 (1964)
- 28 WRIGHT, S. Applied physiology
London - New York-Toronto (1952)

LEBENS LAUF

Am 12. Juli 1949 wurde ich, Wolfgang Richard Halbeck, als Sohn des prakt. Arztes, Dr. med. Ferdinand Halbeck und seiner Frau Kreszentia, geborene Abele, in Augsburg geboren.

In Augsburg ging ich vier Jahre in die Volksschule, besuchte dann neun Jahre das humanistische Gymnasium bei St. Anna, um dort im Juni 1968 die Reifeprüfung mit Erfolg abzulegen.

An der Universität Freiburg studierte ich zunächst ein Semester Biologie, das als fachverwandtes Studium an der Universität München auf mein folgendes Medizinstudium angerechnet wurde. Hier bestand ich im Oktober 1969 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im April 1971 die ärztliche Vorprüfung. Meine klinischen Semester studierte ich durchwegs in München, wo ich am 27. Juni 1974 die ärztliche Prüfung bestand.

Hiermit versichere ich ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne jegliche fremde Mithilfe verfaßt habe.

Augsburg, Juli 1974

